

0.1. Коробова И.А. Анализ структуры течения и оценка эффективности сжатия данных методом POD в двумерных вихревых методах

При решении задач вычислительной механики сплошной среды в нестационарной постановке даже сравнительно редкое сохранение результатов расчетов (раз в сотни или тысячи шагов) с целью последующей их обработки и анализа приводит к необходимости хранения больших объемов данных. Оценка по порядку величины, исходя из сетки, содержащей порядка 10^5 узлов, в каждом из которых хранится 3-5 неизвестных скалярных величин, дает размер около 1,5 Мб для одного «кадра», считая, что данные сохраняются с одинарной точностью. Таких «кадров» может храниться до нескольких тысяч, что приводит к суммарным затратам в несколько гигабайт дискового пространства.

Для сжатия данных могут быть использованы такие алгоритмы, как «Proper Orthogonal Decomposition» (POD, он же метод главных компонент, или Principal Component Analysis) [1] и «Dynamic Mode Decomposition». Их суть — в представлении физических полей в узлах сетки в виде комбинации некоторых пространственных мод с коэффициентами, зависящими от времени. При этом, к примеру, в POD моды ранжированы по энергетической емкости, и удержание в приближенном представлении решения сравнительно малого их числа — не более 2-3 десятков — позволяет достаточно точно восстанавливать поля (с погрешностью порядка одного или долей процента; большая точность требует хранения и учета существенно большего числа мод), причем при необходимости — как непрерывные функции времени в каждом узле сетки, интерполируя временные коэффициенты. При этом для их хранения требуется лишь несколько десятков мегабайт дискового пространства.

Помимо сокращения в десятки раз объема хранимых данных, анализ указанных пространственных мод позволяет выявить особенности структуры течения. В выполненных вычислительных экспериментах основной расчет моделирования обтекания профилей производился в двумерной постановке с использованием лагранжевых вихревых методов; в низших POD-модах для полей скоростей и давления отчетливо проявляются крупные вихревые структуры; в высших — значительно менее энергоемких — мелкие вихри. Анализ крупных вихревых структур позволил, в частности, объяснить наблюдаемую в экспериментах «ступенчатую» зависимость частоты пульсации гидродинамических сил, действующих на обтекаемую прямоугольную пластинку, от ее удлинения [2].

В работе предпринята попытка оценить эффективность сжатия данных при помощи технологии POD в сравнении с теоретически возможным пределом,

оцениваемым по величине (условной) информационной энтропии с учетом того, что сжатие происходит с потерями. Полученные оценки подтверждают высокую эффективность алгоритма POD.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Марчевский И. К.

Список литературы

- [1] LUMLEY J.L. The structure of inhomogeneous turbulent flows // In: A.M. Yaglom, V.I. Tatarsky (Eds.) Atmospheric Turbulence and Radio Wave Propagation. Moscow, 1967. P. 166–178.
- [2] KUZMINA K., MARCHEVSKY I., SOLDATOVA I., IZMAILOVA Y. On the scope of Lagrangian vortex methods for two-dimensional flow simulations and the POD technique application for data storing and analyzing // Entropy. 2021. Vol. 23. Art. 118. doi: 10.3390/e23010118